

**Zeitschrift:** Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern

**Herausgeber:** Naturforschende Gesellschaft Bern

**Band:** - (1906)

**Heft:** 1609-1628

**Artikel:** 2 Kreissysteme am Dreieck

**Autor:** Schenker, O.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-319162>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 10.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

O. Schenker.

## 2 Kreissysteme am Dreieck.

(Eingereicht den 9. April 1906).

1. **Satz:** Die drei Kreise durch die bezw. Dreiecke A, B u. C, deren Mittelpunkte A', B' u. C' erhalten werden, indem man die Normalen A'A, B'B u. C'C in den Ecken A, B u. C zu den Umkreisradien AM, BM u. CM mit den Gegenseiten in A', B' bzw. C' zum Schnitt bringt,
2. gehen durch dieselben zwei Punkte O und O' im Endlichen und schneiden sich unter dem unveränderlichen Winkel von  $120^\circ$ .

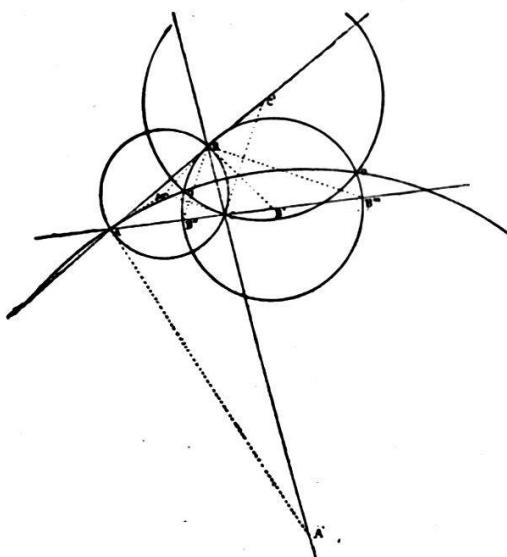


Fig. 1.

3. Diese drei Kreise gehen ausserdem durch die bezw. Schnittpunkte B''' u. B'' | C''' u. C'' | A''' u. A'' der äussern und innern Winkelhalbierenden mit den Gegenseiten (siehe Figur 1).

**Hist. Bemerkung:** Dieses Kreissystem wird dem Apollonius von Perga (in Pamphylien) mit dem Beinamen des grossen Geometers zugeschrieben, der um 200 v. Chr. zu Alexandria lebte und ein Werk über die Kegelschnitte (De Sectionibus conicis) schrieb.

**Beweis zu 1.** Am einfachsten rechnen wir in trimetrischen Koordinaten, indem wir einen beliebigen Punkt P durch seine Abstände  $x_1, x_2, x_3$  von den bezw. Dreiecksseiten  $BC = s_1$ .  $CA = s_2$  und  $AB = s_3$  bestimmen, wobei  $x_1, x_2$  u.  $x_3$  durch die Beziehung verbunden sind :

$$\underline{x_1 \cdot s_1 + x_2 \cdot s_2 + x_3 \cdot s_3 = s_1 \cdot s_2 \cdot \sin C = s_2 \cdot s_3 \cdot \sin A = s_3 \cdot s_1 \cdot \sin B}$$

Bezeichnet d den Durchmesser vom Umkreis des Fundamentaldreiecks (ABC), so folgt aus der Figur :

$$s_1 = d \cdot \sin A, s_2 = d \cdot \sin B, s_3 = d \cdot \sin C, \text{ also}$$

$$\underline{x_1 \cdot \sin A + x_2 \cdot \sin B + x_3 \cdot \sin C = d \cdot \sin A \cdot \sin B \cdot \sin C}$$

Der Abstand zweier Punkte  $x'_1, x'_2, x'_3$  u.  $x''_1, x''_2, x''_3$  wird durch den Ausdruck gegeben :

$$\sqrt{\frac{s_1 \cdot s_2 \cdot s_3}{s_1^2 \cdot s_2^2 \cdot \sin^2 C} \left[ (x'_1 - x''_1)^2 \cdot s_1 \cdot \cos A + (x'_2 - x''_2)^2 \cdot s_2 \cdot \cos B + (x'_3 - x''_3)^2 \cdot s_3 \cdot \cos C \right]}$$

oder indem man  $s_1 = d \cdot \sin A, s_2 = d \cdot \sin B, s_3 = d \cdot \sin C$  einführt

$$\text{durch } \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \sin A \cdot \sin B \cdot \sin C} \left[ (x'_1 - x''_1)^2 \sin 2A + (x'_2 - x''_2)^2 \sin 2B + (x'_3 - x''_3)^2 \sin 2C \right]}$$

**Anmerkung:** Die Formel ergibt sich folgendermassen (s. Fig. 2). Bezeichnen  $\mathfrak{A}', \mathfrak{B}', \mathfrak{C}'$  resp.  $\mathfrak{A}'', \mathfrak{B}'', \mathfrak{C}''$  die Fusspunkte der Senkrechten aus  $P'$  und  $P''$  auf die Dreiecksseiten, so ist :

$$\overline{P' P''}^2 = \overline{\mathfrak{A}' \mathfrak{A}''}^2 + (\overline{P' \mathfrak{A}'} - \overline{P'' \mathfrak{A}''})^2 \text{ oder da}$$

$$\begin{aligned}\mathfrak{A}'\mathfrak{A}'' &= B\mathfrak{A}'' - B\mathfrak{A}' = \frac{x_3'}{\sin B} + \frac{x_1' \cdot \cos B}{\sin B} - \frac{x_3''}{\sin B} - \frac{x_1'' \cdot \cos B}{\sin B} \\ &= \frac{x_3' - x_3'' + (x_1' - x_2'') \cos B}{\sin B} \text{ ist}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\overline{P'P''^2} &= \left[ \frac{x_3' - x_3'' + (x_1' - x_2'') \cos B}{\sin B} \right]^2 + (x_1' - x_1'')^2 \\ &= \left[ (x_3' - x_3'')^2 + (x_1' - x_1'')^2 + 2(x_3' - x_3'')(x_1' - x_1'') \cos B \right] : \sin^2 B\end{aligned}$$

da aber  $x_1' \cdot \sin A + x_2' \cdot \sin B + x_3' \cdot \sin C = d \cdot \sin A \cdot \sin B \cdot \sin C$  u.

$x_1'' \cdot \sin A + x_2'' \cdot \sin B + x_3'' \cdot \sin C = d \cdot \sin A \cdot \sin B \cdot \sin C$  ist,

also  $(x_1' - x_1'') \sin A + (x_2' - x_2'') \sin B + (x_3' - x_3'') \sin C = 0$ ,

so folgt durch quadrieren:  $2(x_3' - x_3'')(x_1' - x_1'')$

$$= \frac{(x_2' - x_2'')^2 \sin^2 B - (x_1' - x_1'')^2 \sin^2 A - (x_3' - x_3'')^2 \sin^2 C}{\sin A \cdot \sin C}$$

$$\begin{aligned}\text{also } \overline{P'P''^2} &= \left\{ \sin C (x_3' - x_3'')^2 (\sin A - \cos B \sin C) \right. \\ &\quad \left. + \sin A (x_1' - x_1'')^2 (\sin C - \cos B \sin A) \right. \\ &\quad \left. + \sin^2 B \cos B (x_2' - x_2'')^2 \right\} : \sin A \cdot \sin^2 B \cdot \sin C \\ &= \left\{ \sin A (x_1' - x_1'')^2 \cos A \cdot \sin B + \sin B (x_2' - x_2'')^2 \cos B \cdot \sin B \right. \\ &\quad \left. + \sin C (x_3' - x_3'')^2 \cos C \cdot \sin B \right\} : \sin A \cdot \sin^2 B \cdot \sin C \\ &= \underline{\underline{\left\{ (x_1' - x_1'')^2 \sin 2A + (x_2' - x_2'')^2 \sin 2B + (x_3' - x_3'')^2 \sin 2C \right\}}}\end{aligned}$$

:  $2 \sin A \cdot \sin B \cdot \sin C$  w. z. b. w.

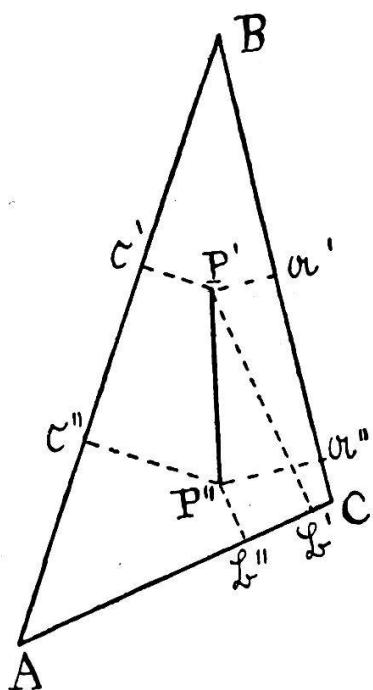


Fig. 2.

Sei nun  $ABC$  (Fig. 1) das gegebene Dreieck, das man als Fundamentaldreieck wählt,  $M$  der Umkreismittelpunkt;  $BB'$  stehe zum Radius  $MB$  senkrecht und treffe die Verlängerung von  $AC$  in  $B'$ , so ist nach dem Sinussatz im  $\triangle ABB'$ :

$$AB' = d \cdot \sin^2 C : \sin(C-A) \text{ u. im } \triangle CBB' : CB' = d \cdot \sin^2 A : \sin(C-A),$$

somit sind die Koordinaten von  $B'$   $\left| x_1 = -\frac{d \cdot \sin^2 A \cdot \sin C}{\sin(C-A)}, x_2 = 0 \right.$

$x_3 = \frac{d \cdot \sin^2 C \cdot \sin A}{\sin(C-A)} \right|$  und der Kreis durch  $B$  mit  $B'$  zum Zentrum

hat offenbar die Gleichung:

$$d^2 \left\{ \left[ \frac{\sin^2 A \cdot \sin C}{\sin(C-A)} \right]^2 \sin 2A + (\sin A \cdot \sin C)^2 \cdot \sin 2B + \left[ \frac{\sin^2 C \cdot \sin A}{\sin(C-A)} \right] \sin 2C \right\}$$

$$= \left[ x_1 + \frac{d \sin^2 A \cdot \sin C}{\sin(C-A)} \right]^2 \cdot \sin 2A + x_2^2 \cdot \sin 2B + \left[ x_3 - \frac{\sin^2 C \cdot \sin A}{\sin(C-A)} \right]^2 \cdot \sin 2C$$

da ja die Koordinaten der Ecke  $B$   $\left| : x_1 = 0, x_2 = d \cdot \sin A \cdot \sin C \right.$

$x_3 = 0$  sind. Durch Vereinfachung wird die Kreisgleichung

$$d^2 \cdot \sin^2 A \cdot \sin^2 C \cdot \sin 2B = \frac{2x_1 \cdot d \cdot \sin 2A \cdot \sin^2 A \cdot \sin C}{\sin(C - A)}$$

$$- \frac{2x_3 \cdot d \cdot \sin 2C \cdot \sin^2 C \cdot \sin A}{\sin(C - A)} + x_1^2 \cdot \sin 2A + x_2^2 \cdot \sin 2B + x_3^2 \cdot \sin 2C.$$

Die entsprechende Gleichung für den Kreis durch die Ecke C erhält man durch Vorrücken der Buchstaben und Indicess:

$$d^2 \cdot \sin^2 B \cdot \sin^2 A \cdot \sin 2C = \frac{2x_2 \cdot d \cdot \sin 2B \cdot \sin^2 B \cdot \sin A}{\sin(A - B)}$$

$$- \frac{2x_1 \cdot d \cdot \sin 2A \cdot \sin^2 A \cdot \sin B}{\sin(A - B)} + x_1^2 \cdot \sin 2A + x_2^2 \cdot \sin 2B + x_3^2 \cdot \sin 2C.$$

Die gemeinsame Sehne dieser beiden Kreise bezw. deren Gleichung erhält man durch Subtraktion der beiden Kreisgleichungen:

$$d^2 \cdot \sin^2 A \cdot \sin^2 C \cdot \sin 2B - d^2 \cdot \sin^2 B \cdot \sin^2 A \cdot \sin 2C = 2dx_1 \cdot \sin 2A \cdot \sin^2 A.$$

$$\cdot \left\{ \frac{\sin(A - B) \sin C + \sin(C - A) \sin B}{\sin(A - B) \cdot \sin(C - A)} \right\} - \frac{2dx_2 \cdot \sin 2B \cdot \sin^2 B \cdot \sin A}{\sin(A - B)}$$

$$- \frac{2dx_3 \cdot \sin 2C \cdot \sin^2 C \cdot \sin A}{\sin(C - A)} \text{ oder durch Vereinfachung:}$$

$$d \cdot \sin A \cdot \sin B \cdot \sin C \cdot \sin(C - B)$$

$$= x_1 \sin 2A \cdot \sin A \left[ \frac{\cos 2B - \cos 2A + \cos 2A - \cos 2C}{\sin(A - B) \cdot \sin(C - A)} \right]$$

$$- \frac{2x_2 \cdot \sin 2B \cdot \sin^2 B}{\sin(A - B)} - \frac{2x_3 \cdot \sin 2C \cdot \sin^2 C}{\sin(C - A)} \text{ oder}$$

$$d \cdot \sin A \cdot \sin B \cdot \sin C = \frac{2x_1 \sin 2A \cdot \sin^2 A}{\sin(A - B) \cdot \sin(C - A)}$$

$$+ \frac{2x_2 \cdot \sin 2B \cdot \sin^2 B}{\sin(B - C) \cdot \sin(A - B)} + \frac{2x_3 \cdot \sin 2C \cdot \sin^2 C}{\sin(C - A) \cdot \sin(B - C)} \text{ oder wegen}$$

$$d \cdot \sin A \cdot \sin B \cdot \sin C = x_1 \sin A + x_2 \sin B + x_3 \sin C \text{ wird die Gleichung der Sehne:}$$

$$\begin{aligned} & \underline{(x_1 \sin A + x_2 \sin B + x_3 \sin C) \sin(A-B) \cdot (B-C) \cdot \sin(C-A)} \\ & - 2x_1 \sin 2A \cdot \sin^2 A \sin(B-C) - 2x_2 \sin 2B \cdot \sin^2 B \sin(C-A) \\ & - 2x_3 \sin 2C \cdot \sin^2 C \sin(A-B) = 0 \end{aligned}$$

Durch Vorrücken der Buchstaben und Indicess wird diese Gleichung nicht geändert, d. h. unsere drei Kreise haben eine gemeinsame Sehne im Endlichen, gehen also durch zwei feste Punkte O u. O' im Endlichen w. z. b. w.

Beweis zu 2. Nach dem Cosinussatz ergibt sich (Fig. 1)  $\overline{C'B'}^2 = \overline{C'O}^2 + \overline{B'O}^2 - 2C'O \cdot B'O \cdot \cos(C'OB')$  und anderseits  $\overline{C'B'}^2 = \overline{AB'}^2 + \overline{AC'}^2 - 2\overline{AB'} \cdot \overline{AC'} \cdot \cos A$  od. da aus  $\triangle ABB'$  folgt:  $AB' = d \cdot \sin^2 C : \sin(C-A)$  u.  $B'O = B'B = \frac{d \cdot \sin A \cdot \sin C}{\sin(C-A)}$  und aus  $\triangle ACC' : AC' = d \cdot \sin^2 B : \sin(B-A)$  u.

$C'O = CC' = d \cdot \sin B \cdot \sin A : \sin(B-A)$  (nach dem Sinussatz)

$$\begin{aligned} & \frac{d^2 \cdot \sin^4 C}{\sin^2(C-A)} + \frac{d^2 \cdot \sin^4 B}{\sin^2(A-B)} + \frac{d^2 \cdot 2 \cdot \sin^2 C \cdot \sin^2 B \cdot \cos A}{\sin(C-A) \cdot \sin(A-B)} \\ & = d^2 \left[ \frac{\sin A \cdot \sin C}{\sin(C-A)} \right]^2 + d^2 \left[ \frac{\sin B \cdot \sin A}{\sin(A-B)} \right]^2 \\ & \quad + \frac{2d^2 \cdot \sin^2 A \cdot \sin B \cdot \sin C \cdot \cos(C'OB')}{\sin(C-A) \cdot \sin(A-B)} \end{aligned}$$

od. durch Vereinfachung:

$$\begin{aligned} & \frac{\sin^2 C (\sin^2 C - \sin^2 A)}{\sin^2(C-A)} + \frac{\sin^2 B (\sin^2 B - \sin^2 A)}{\sin^2(A-B)} \\ & + \frac{2 \sin^2 C \cdot \sin^2 B \cdot \cos A}{\sin(C-A) \cdot \sin(A-B)} = + \frac{2 \sin^2 A \cdot \sin B \cdot \sin C \cdot \cos(C'OB')}{\sin(C-A) \cdot \sin(A-B)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{od. } & \frac{\sin^2 C \cdot \sin B}{\sin(C-A)} - \frac{\sin^2 B \cdot \sin C}{\sin(A-B)} + \frac{2 \sin^2 C \cdot \sin^2 B \cdot \cos A}{\sin(C-A) \cdot \sin(A-B)} \\ & = + \frac{2 \sin^2 A \cdot \sin B \cdot \sin C \cdot \cos O}{\sin(C-A) \cdot \sin(A-B)} \text{ oder} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\sin C}{\sin(C-A)} - \frac{\sin B}{\sin(A-B)} + \frac{2\sin C \cdot \sin B \cdot \cos A}{\sin(C-A) \cdot \sin(A-B)} \\ = \frac{+ 2\sin^2 A \cdot \cos O}{\sin(C-A) \cdot \sin(A-B)} \end{aligned}$$

woraus:  $\sin C \cdot \sin(A-B) - \sin B \cdot \sin(C-A) + 2\sin C \cdot \sin B \cdot \cos A$   
 $= + 2\sin^2 A \cdot \cos O$  oder  
 $\sin C(\sin A \cdot \cos B - \cos A \cdot \sin B) - \sin B(\sin C \cdot \cos A - \cos C \cdot \sin A)$   
 $+ 2\sin C \cdot \sin B \cdot \cos A = + 2\sin^2 A \cdot \cos O$  oder  $\sin^2 A = 2\sin^2 A \cdot \cos O$ , also  $\cos O = + \frac{1}{2}$  d. h.  $\angle C'OB' = 60^\circ$ ; in gleicher Weise ist  $\angle A'OC' = 120^\circ$  u.  $\angle B'OA' = 60^\circ$  w. z. b. w.

Beweis zu 3 (Fig. 1). Sind  $BB''$  u.  $BB'''$  die innern und äusseren Winkelhalbierenden in  $\triangle ABC$  an der Ecke B, so ist:

$\angle B''BC = \frac{B}{2}$ ;  $\angle CBB' = A$ , also  $\angle B''BB' = A + \frac{B}{2}$ , ferner ist  $\angle BB''B' = A + \frac{B}{2}$ , als Aussenwinkel des Dreiecks  $ABB''$ , darum  $\angle B''BB' = \angle BB''B'$ , somit

$$\underline{B'B = B'B''} \text{ w. z. b. w.}$$

Gleicherweise ist  $\angle B'BB''' = 90 - A - \frac{B}{2}$  nach dem vorigen u.  $\angle BB'''B' = 90 - A - \frac{B}{2}$  als Folge des vorangegangenen, somit

$$\angle B'BB''' = \angle BB'''B', \text{ d. h.}$$

$$\underline{B'B = B'B'''} \text{ w. z. b. w.}$$

**Satz:** Im rechtwinkligen Dreieck ABC (Fig. 3) ist die Verbindungsline der Kathetenmitten Radical-axis ( $P_1P_2$ ) eines Kreissystems, bestehend aus drei Kreisen, wozu der Umkreis ( $M$ ) gehört. Dieser enthält die Mittelpunkte  $M_1$  und  $M_2$  der beiden andern Kreise, welche durch die Berührpunkte des innerlich berührenden Kreises an den Katheten

bezw. durch seinen Berührungs punkt an der Hypotenuse gehen.

Beweis: Wir legen ein rechtwinkliges Koordinatensystem zu Grunde mit Umkreismittelpunkt M zum Anfangspunkt, dessen positive Axenrichtungen  $M_x$  u.  $M_y$  parallel den Kathetenrichtungen CB und CA sind. Ist sodann  $M_1 MM_2$  in M zur Hypotenuse senkrecht mit  $M_1$  u.  $M_2$  zu Schnittpunkten am Umkreise, so sind  $M_1$ , M u.  $M_2$  die Zentren unseres Kreissystems mit der Verbindungs linie der Katheten mitten zur gemeinsamen Sehne.

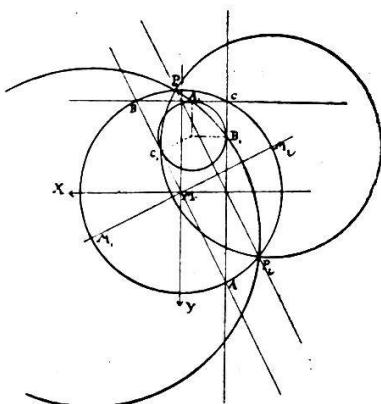


Fig. 3.

Bedeuten  $P_1$  und  $P_2$  die Schnittpunkte dieser Radikalaxe mit dem Umkreis,  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$  die bezüglichen Berührungs punkte des Inkreises (Zentrum O), so wird behauptet:

$$\underline{M_1 P_1 = M_1 A_1 = M_1 B_1} \quad \text{u.} \quad \underline{M_2 P_1 = M_2 C_1}$$

Die Koordinaten von  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$  u.  $P_1$  sind, wenn wiederum d den Umkreisdurchmesser vorstellt:

$$\text{von } M_1 \left| \begin{array}{l} x = \frac{d \cdot \cos A}{2} \\ ; \\ y = \frac{d \cdot \cos B}{2} \end{array} \right.$$

$$\text{von } M_2 \left| \begin{array}{l} x = -\frac{d \cdot \cos A}{2} \\ ; \\ y = -\frac{d \cdot \cos B}{2} \end{array} \right.$$

$$\text{von } A_1 \left| \begin{array}{l} x = d \frac{\sin B - 1}{2} \\ ; \\ y = -\frac{\sin B \cdot d}{2} \end{array} \right.$$

$$\text{von } B_1 \left| \begin{array}{l} x = -\frac{\sin A \cdot d}{2} \\ ; \\ y = \frac{\sin A - 1 \cdot d}{2} \end{array} \right.$$

von  $C_1 \mid x = d \sin A \frac{\sin B - \sin A}{2}; y = d \cdot \sin B \frac{\sin A - \sin B}{2}$

von  $P_1 \mid x = d \left[ -\sin^2 B \cdot \cos B \pm \cos B \sqrt{\cos^2 B + \sin^4 B} \right] : 2$   
 $y = d \left[ -\cos^2 B \sin B \mp \sin B \sqrt{\cos^2 B + \sin^4 B} \right] : 2$

denn der Radius  $r$  des Inkreises ist ja:

$$\begin{aligned} r &= d^2 \cdot \sin A \cdot \sin B \cdot \sin C : d (\sin A + \sin B + \sin C) \\ &= 8 d \sin \frac{A}{2} \sin \frac{B}{2} \cdot \sin \frac{C}{2} \cdot \cos \frac{A}{2} \cdot \cos \frac{B}{2} \cdot \cos \frac{C}{2} \\ &\quad : 4 \cos \frac{A}{2} \cdot \cos \frac{B}{2} \cdot \cos \frac{C}{2} = 2 d \cdot \sin \frac{A}{2} \cdot \sin \frac{B}{2} \cdot \sin \frac{C}{2} \\ &= d \frac{\cos A + \cos B + \cos C - 1}{2} = \frac{\sin A + \sin B - 1}{2} \cdot d \text{ für} \end{aligned}$$

unsern Fall von  $C = 90^\circ$ ; woraus für  $A_1$  u.  $B_1$  die angegebenen Werte folgen (Fig. 3).

Für  $C_1$  ergeben sich daraus die Koordinaten:

$$\begin{aligned} x &= d \frac{\sin B - 1}{2} + \frac{d \sin A + \sin B - 1}{2} \cdot \cos A \\ &= d \frac{\sin A \cdot \sin B + \sin^2 B - 1}{2} = d \sin A \frac{\sin B - \sin A}{2} \\ y &= \frac{-d \cdot \sin B}{2} + d \cdot \frac{\sin A + \sin B - 1}{2} \cdot \sin A + d \frac{\sin A + \sin B - 1}{2} \\ &= d \frac{\sin^2 A + \sin A \cdot \sin B - 1}{2} = d \cdot \sin B \cdot \frac{\sin A - \sin B}{2} \text{ wie angegeben.} \end{aligned}$$

Für  $P_1 P_2$  aber besteht die Gleichung:

$$y + \frac{\sin B}{2} \cdot d = -x \operatorname{tg} B \text{ und für den Umkreis } x^2 + y^2 = \frac{d^2}{4},$$

woraus für  $P_1$  und  $P_2$  folgt:

$$x^2 + \frac{\sin^2 B (\cos d + 2x)^2}{4 \cdot \cos^2 B} = \frac{d^2}{4} \text{ oder}$$

$$4x^2 + 4 \cdot \sin^2 B \cdot \cos B \cdot d \cdot x - d^2 \cdot \cos^2 B + d^2 \cos^2 B \cdot \sin^2 B = 0$$

od.  $4x^2 + 4 \sin^2 B \cdot \cos B \cdot d \cdot x - d^2 \cdot \cos^4 B = 0$ , woraus

$$x_{P_1|P_2} = \left\{ -\sin^2 B \cdot \cos B \cdot d \pm d \cdot \cos B \sqrt{\cos^2 B + \sin^4 B} \right\} : 2$$

$$y_{P_1|P_2} = \left\{ -\cos^2 B \sin B \cdot d \mp d \cdot \sin B \sqrt{\cos^2 B + \sin^4 B} \right\} : 2$$

wie angegeben.

Hiernach ergibt sich:

$$\begin{aligned} \overline{M_1 P_1}^2 &= \left[ \cos A + \sin^2 B \cdot \cos B \mp \cos B \sqrt{\cos^2 B + \sin^4 B} \right]^2 \frac{d^2}{4} \\ &\quad + \left[ \cos B + \cos^2 B \cdot \sin B \pm \sin B \sqrt{\cos^2 B + \sin^4 B} \right] \frac{d^2}{4} \\ &= \left[ 1 + \sin^2 B \cdot \cos^2 B + \cos^2 B + \sin^4 B + 2 \sin A \cdot \sin B \right] \frac{d^2}{4} \\ &= \frac{d^2}{2} (1 + \sin A \cdot \sin B), \text{ ferner} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{M_1 A_1}^2 &= \left[ \cos A - \sin B + 1 \right]^2 \frac{d^2}{4} + \left[ \cos B + \sin B \right]^2 \frac{d^2}{4} \\ &= \frac{d^2}{2} (1 + \sin A \cdot \sin B) \text{ u.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{M_1 B_1}^2 &= (\cos A + \sin A)^2 \cdot \frac{d^2}{4} + (\cos B - \sin B + 1)^2 \cdot \frac{d^2}{4} \\ &= \frac{d^2}{2} (1 + \sin A \cdot \sin B) \text{ also:} \end{aligned}$$

$$\underline{M_1 P_1} = \underline{M_1 A_1} = \underline{M_1 B_1} = \underline{M_1 P_2} \text{ w. z. b. w.}$$

weiter:

$$\begin{aligned} \overline{M_2 P_1}^2 &= \left[ -\cos A + \sin^2 B \cdot \cos B \mp \cos B \sqrt{\cos^2 B + \sin^4 B} \right]^2 \cdot \frac{d^2}{4} \\ &\quad + \left[ -\cos B + \sin B \cdot \cos^2 B \pm \sin B \sqrt{\cos^2 B + \sin^4 B} \right]^2 \cdot \frac{d^2}{4} \\ &= \frac{d^2}{4} \left[ 1 + \sin^2 B \cdot \cos^2 B + \cos^2 B + \sin^4 B - 2 \sin B \cdot \cos B \right] \end{aligned}$$

$$= \frac{d^2}{2} \left( 1 - \sin A \cdot \sin B \right) u.$$

$$\overline{M_2 C_1}^2 = \left[ -\cos A - \sin A (\sin B - \sin A) \right]^2 \cdot \frac{d^2}{4}$$

$$+ \left[ -\cos B - \sin B (\sin A - \sin B) \right]^2 \cdot \frac{d^2}{4}$$

$$= \frac{d^2}{4} \left[ 1 + (\sin A - \sin B)^2 \right] = \frac{d^2}{2} (1 - \sin A \cdot \sin B)$$

woraus folgt:

$$\underline{M_2 P_1 = M_2 C_1 = M_2 P_2}. \text{ w. z. b. w.}$$

---